

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 9月 5日
Date of Application:

出願番号 特願2003-314057
Application Number:

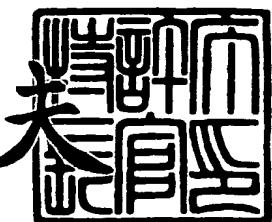
[ST. 10/C] : [JP 2003-314057]

出願人 千葉大学長
Applicant(s):

2003年 9月 24日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 U2002P267
【提出日】 平成15年 9月 5日
【あて先】 特許庁長官 今井 康夫 殿
【国際特許分類】 H01S 3/00
【発明者】
 【住所又は居所】 千葉県千葉市花見川区畠町3103の195
 【氏名】 吉川 明彦
【発明者】
 【住所又は居所】 千葉県千葉市稲毛区千草台2-2-19-404
 【氏名】 徐 科
【特許出願人】
 【識別番号】 394010252
 【氏名又は名称】 千葉大学長
【代理人】
 【識別番号】 100072051
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 杉村 興作
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2002-280082
 【出願日】 平成14年 9月25日
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9816372

【書類名】特許請求の範囲

【請求項1】

InNそれ自体又はInNを主成分とした窒化物系ヘテロ構造を有し、少なくとも一部について窒素極性表面又はそれと同様な特性を有する表面となる結晶を有することを特徴とする窒化物系ヘテロ構造を有するデバイス。

【請求項2】

InNそれ自体又はInNを主成分とした窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスの製造方法であって、少なくとも一部について窒素極性表面又はそれと同様な特性を有する表面となる結晶を前記デバイスに形成することを特徴とする窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスの製造方法。

【書類名】明細書

【発明の名称】窒化物系ヘテロ構造を有するデバイス及びその製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、InNそれ自体又はInNを主成分とした窒化物系ヘテロ構造を有する光学的及び／又は電子的なデバイス（光通信用光源としての温度特性に優れた半導体レーザダイオード・発光ダイオード、フェムト秒領域の超高速光制御デバイス、共鳴トンネルダイオード、超高速・超省電力デバイスなど）並びにその製造方法に関するものである。本明細書中、InNを主成分とするとは、材料中にInNを50%以上含むことを意味するものとする。また、窒素極性表面又はそれと同様な特性を有する表面とは、例えば(001)面や(101)面などのように、有極性で窒素極性となる表面、及びその表面から10度以内で傾斜した表面を意味するものとする。

【背景技術】

【0002】

GaNを主成分とした窒化物半導体は、紫外から可視領域の発光素子及び超高速の電子デバイス用材料として利用可能である。近年、InNのエネルギー-bandギャップが0.7eVと従来の報告値よりも極めて小さいことが示され、InNを含む窒化物系半導体が0.7eV程度までの極めて広いエネルギー-bandギャップをカバーできることがわかった。そのため、InNそれ自体又はInNを主成分とした窒化物を含むデバイスは、きわめて広い温度範囲で使用可能で、多量の画像情報通信が必須となる近未来の超高速・超広帯光情報通信時代の光源や中継基地局の超高速・大電力増幅器などの基幹の光・電子デバイス材料として利用可能である。

【0003】

AlN/GaN/InN系窒化物系半導体は、六方晶の結晶構造を有し、サファイヤやSiC基板等に形成される多数のデバイスは、結晶のc軸が基板表面にほぼ直交している。そのうちのAlNやGaNのエピタキシでは、Al又はGaのカチオン元素が成長表面方向になる結晶極性(+c極性)が、結晶成長制御及びデバイス構造制御において好ましい。しかしながら、InN及びInNを主成分とした窒化物系結晶のエピタキシへの結晶極性の影響は解明されておらず、一般に、GaNなどと同様に窒化物系半導体全体を通じて+c極性が好ましいと考えられてきた(例えば、非特許文献1, 2参照)。

【非特許文献1】Y. Sato et al. "Polarity of High-Quality Indium Nitride Grown by RF Molecular Beam Epitaxy", phys. Stat. Sol. (b) 228, No. 1, (2001), pp. 13-16

【非特許文献2】A. Yoshikawa et al. "In situ investigation for polarity-controlled epitaxy processes of GaN and AlN in MBE and MOVPE growth", Optical Materials 23 (2003), pp. 7-14

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

InNそれ自体又はInNを主成分とした混晶の結晶成長は、InNそれ自体の平衡蒸気圧が高く、結晶成長(ヘテロエピタキシ)が極めて困難である。また、設定すべき光通信波長域の光デバイス及び超高速・超省電力高性能電子デバイスは、いずれも超薄膜・超急峻ヘテロ界面を有する必要があり、いわゆるステップフロー成長などの一分子層レベルでの平坦性を有するエピタキシの実現が困難であるのが現状である。さらに、従来の成膜技術で作製したものは結晶品質が不十分であり、大幅な結晶性の改善が必要である。

【0005】

本発明の目的は、InN及びInNを主成分とする窒化物系半導体のエピタキシに対する極性の影響に着目し、一分子層レベルでの平坦性を有するエピタキシの実現が容易にできる窒化物系ヘテロ構造を有するデバイス及びその製造方法を提供することである。

本発明の他の目的は、エピタキシ温度の高温化を図ることにより、窒化物系薄膜結晶自

体及びそのヘテロデバイス構造の高品質化を実現する製造方法を提供することである。

本発明の他の目的は、窒化物系薄膜及びそのヘテロ接合デバイス構造作製の高速化並びに基板サイズの大面積化を可能とする製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明による窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスは、InNそれ自体又はInNを主成分とした窒化物系ヘテロ構造を有し、少なくとも一部について窒素極性表面又はそれと同様な特性を有する表面となる結晶を有することを特徴とする。

また、本発明による窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスの製造方法は、InNそれ自体又はInNを主成分とした窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスの製造方法であって、少なくとも一部について窒素極性表面又はそれと同様な特性を有する表面となる結晶を前記デバイスに形成することを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、少なくとも一部について窒素極性表面又はそれと同様な特性を有する表面（例えば、表面に対して10°以内の傾斜を有するようにしたものの）となる結晶を形成することによって、エピタキシ及びデバイスの製造の際に、例えば窒素過剰の条件下としてもエピタキシ温度を高めることができたため、ステップフロー2次元成長のように平坦性に優れた表面を得やすくなるので、薄膜結晶の高品質化及び一分子層レベルでの平坦性を有するエピタキシを容易に実現できる窒化物系ヘテロ構造を有するデバイス及びその製造方法が実現可能となる。なお、InNそれ自体又はInNを主成分としたエピタキシは、エピタキシ自体が困難であり、本発明以外では、ステップフロー2次元成長が実現されていない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

本発明による窒化物系ヘテロ構造を有するデバイス及びその製造方法の実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。

図1は、本発明による窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスの断面図である。このデバイスは、表面を窒化したc面サファイア基板1と、GaNバッファ層、InNバッファ層又はAlGaN混晶バッファ層2と、N極性GaN層3と、N極性AlN層4と、N極性InN／InGaN多重層デバイス構造5と、Al極性AlN6と、GaNキャップ層7とを有する。

【0009】

図2は、本発明による窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスを製造するためのエピタキシシステムであり、図3は、N極性GaNテンプレート上へのInN成長シーケンスの例である。図2のエピタキシシステムは、メインチャンバ11と、ロードロックチャンバ12と、直衝突同軸イオン散乱分光装置(CAICISS)13と、窒素源用高周波プラズマセル14と、分光エリプソメータ(SE)15と、超高真空走査トンネル顕微鏡／原子間力顕微鏡16と、高エネルギー反射電子線回折装置17とを具える。

【0010】

図4は、同一成長条件(InNとNの供給原料ビーム比率は、ストイキオメトリ条件からややN過剰側に設定した場合)でInN極性とN極性それぞれの場合のInNの成膜速度の温度依存性を比較したものである。N極性及びInN極性それぞれの場合で成膜速度が急激に低下する高温領域近傍に斜線でハッチした縦長の帯は、両極性それぞれの場合での最適なエピタキシ温度を示す。N極性の時に成膜可能な温度がInN極性のときに比べ100度程度高いことが示されている。InNの成膜では、一度成長表面にInN液滴(ドロプレット)が出現すると、それが成膜を阻害するため、エピタキシ中でのInN液滴出現を避ける必要がある。N極性のときに成膜可能温度を高くできることは、InN液滴を抑える点、及び成膜原料種の表面マイグレーションを促進して薄膜の高品質化を図る上で極めて有効である。なお、両極性の場合ともに、供給原料の総量を増すことでエピタキシ可能温度を高

くすることが可能であるが、その場合でも窒素極性の場合がきわめて有利であることに変わりはない。

【0011】

図5は、GaN上へのN極性InN成長の分光エリプソメータ(SE)によるその場観察を示す図であり、図6は、直衝突同軸イオン散乱分光装置で解析したInNの極性を示す図である。図6において、GaN基板およびInNエピタキシ膜とともに窒素極性であることを示している。

【0012】

図7Aは、N極性InNエピタキシ膜の走査電子顕微鏡像の表面写真であり、図7Bは、InNエピタキシ膜の原子間力顕微鏡像の表面写真である。図7A及び7Bのいずれにおいても、ステップフロー2次元成長によりきわめて平坦な表面となっていることを示している。

【0013】

図8は、InNエピタキシ膜のX線折評価：(002)及び(102)面のロッキングカーブ半値幅を示す図である。これらは、いずれも233及び970角度秒となっており、また、電子移動度も室温で $2000\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ と大きいものが得られている。

【0014】

本実施の形態によれば、分子線エピタキシ(MBE)法などで、上述のInN系窒化物半導体デバイスを製造する上で、窒素極性表面又はそれと同等の特徴・作用を発現する表面になるように結晶を形成すること、又はそのような結晶形成条件を実現することにより、高品質の超薄膜・超急峻ヘテロ接合デバイスを形成することが他の場合と比較してきわめて容易に実現可能となる。

【0015】

図9は、本発明によるデバイスの第1の実施の形態を示す図である。このデバイスは、一般に量子ヘテロ構造レーザーダイオードとして実現されるが、発光ダイオードとして実現することもできる。このデバイスは、以下の(1)～(5)の特徴を有する。

(1) サファイア基板上を窒化して形成したN極性AlN及びその上に堆積したN極性GaNバッファ層及びGaN下地層を有する。

(2) AlGaN層によるキャリア閉じ込め構造を有する。(この層は、活性層よりもエネルギー・バンドギャップが大きい任意組成のAlGaInN層で可能となる。)

(3) 活性層として、N極性のInN/InGaN量子井戸層を有する。なお、活性層はInN/InGaN量子井戸構造が主たるものであるが、活性層中の井戸層及び障壁層の層厚及び組成は、発光波長により1分子層から10nm程度のInGaN及びAlGaN層とする。また、その周期数は1～20である。発光波長は、約0.8から1.8μmで制御可能である。

(4) 活性層以降のGaNやAlGaNの成膜プロセスを+C極性(すなわち、カチオン元素のAl, Ga又はIn極性)で行うため、極性反転AlN層(N極性からAl極性へ転換)を有する。この層は、p型AlGaNやGaN層のドーピング効率増大や平坦性に優れた成膜を容易にするために挿入しているが、-C極性(アニオン元素のN極性)で十分な場合もあり、必ずしも必要ではない。

(5) 高濃度p型ドーピングしたGaNを有するとともに、表面にp型コンタクトを有する。

【0016】

図10は、本発明によるデバイスの第2の実施の形態を示す図である。このデバイスは、活性層に量子ドットを有するレーザーダイオードとして実現されるが、発光ダイオードとして実現することもできる。このデバイスは、以下の(1)～(3)の特徴を有する。

(1) 活性層にInNの量子ドットを含むInN/GaN超格子層を有する。活性層の量子ドットの組成は発光波長により障壁・下地層も含めInGaNとする。また、ドットサイズ及び各層の厚みは数nmから10nm程度となる。)

(2) キャリア閉じ込め層として活性層の両端にAlGaN層を有する。

(3) 活性層を量子ドット超格子とすること以外のデバイス設計指針は基本的に図9の場合と同じである。

【0017】

図11は、本発明によるデバイスの第3の実施の形態を示す図である。このデバイスは、InNをベースとしたHEMT（高電子移動度トランジスタ）として実現される。このデバイスは、以下の(1)～(3)の特徴を有する。

(1) N極性高抵抗GaN又はその上に形成したInN/GaN (InGaN/AlGaN構造でも可) ヘテロ界面でのピエゾ効果による2次元電子ガス層を利用したHEMT構造を有する。

(2) ゲート電極下に薄い高抵抗性AlGaN層をゲート絶縁膜膜としたゲート構造を有する。

(3) ゲート絶縁膜堆積時に、極性転換のための極めて薄いAl極性AlINを先に堆積すればAlGaN層の極性は+_cとなり、この層及びInN層の歪制御によりゲート絶縁膜直下に2次元電子層を形成することも可能である。

【0018】

図12は、本発明によるデバイスの第4の実施の形態を示す図である。このデバイスは、電界変調型光変調器として実現される。このデバイスは、以下の(1)～(3)の特徴を有する。

(1) バイス構造は、光の入出力部を除いて図9と同様の設計指針で製造される。

(2) 外部から印加した電圧・電界により光を変調する。

(3) 光の入出射方向は、原則的に量子井戸構造に対して平行又は垂直方向である。

【0019】

図13は、本発明によるデバイスの第5の実施の形態を示す図である。このデバイスは、光及び電子制御光変調器（量子井戸構造中のバンド内及びバンド間電子遷移を利用したもの）として実現される。このデバイスは、以下の(1)～(2)の特徴を有する。

(1) InN/GaN量子井戸構造を有する。被制御光（被変調光）の波長が光通信波長帯の場合には、量子井戸内でのサブバンド間電子遷移を制御光（変調光）で誘起し、バンド間遷移吸収を超高速に変調するが、制御光と被制御光の関係を逆転して光変調器として用いることも可能である。

(2) 量子井戸の組成をInGaN/AlGaN/InNとし、また、量子井戸中の活性層の厚さを制御することによって、波長は0.8～1.8μmの範囲で可変となる。

【0020】

図14は、本発明によるデバイスの第6の実施の形態を示す図である。このデバイスは、光及び電子制御光変調器（活性層と量子ドットを含む構造中のバンド内及びバンド間電子遷移を利用したもの）として実現される。このデバイスは、以下の(1)～(2)の特徴を有する。

(1) 図13の場合の光変調器と比べて、活性層に量子ドット構造を有する。これにより、光の入射方向に対して制限がなくなる。

(2) その他のデバイス構造の設計指針は図12の場合と同様に、制御光と被制御光の関係、および波長範囲を制御可能である。

【0021】

本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、幾多の変更及び変形が可能である。

例えば、N極性表面又は同様の特徴・利点を発現する表面上に、エピタキシ及びデバイスの形成をするときに、成膜条件を変えることにより、一部に量子ドットを含む構造のデバイス（量子ドットレーザダイオードなど）を形成することも可能であり、この際にも、例えば、量子ドットを含む活性層をスタックしたり、また活性層全体又はクラッド層などをデバイス品質にて形成する上でも、本発明が必要となる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明による窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスの断面図である。

【図2】本発明による窒化物系ヘテロ構造を有するデバイスを製造するためのエピタキシシステムである。

【図3】N極性GaNテンプレート上へのInN成長シーケンスの例である。

【図4】同一成長条件（InとNの供給原料ビーム比率は、ストイキオメトリ条件からややN過剰側に設定した場合）でInN極性とN極性の場合のInNの成膜速度の温度依存性を比較したものである。

【図5】GaN上へのInN成長の分光エリプソメトリ（SE）によるその場観察を示す図である。

【図6】直衝突同軸イオン散乱分光装置で解析したInNの極性を示す図である。

【図7】図7Aは、InNエピタキシ膜の走査電子顕微鏡像の表面写真であり、図7Bは、InNエピタキシ膜の原子間力顕微鏡像の表面写真である。

【図8】InNエピタキシ膜のX線回折評価：（002）及び（102）面のロッキングカーブ半値幅がそれぞれ233及び970角度秒となっており、また、電子移動度も2000cm²/V·secと大きい物が得られる。

【図9】本発明によるデバイスの第1の実施の形態を示す図である。

【図10】本発明によるデバイスの第2の実施の形態を示す図である。

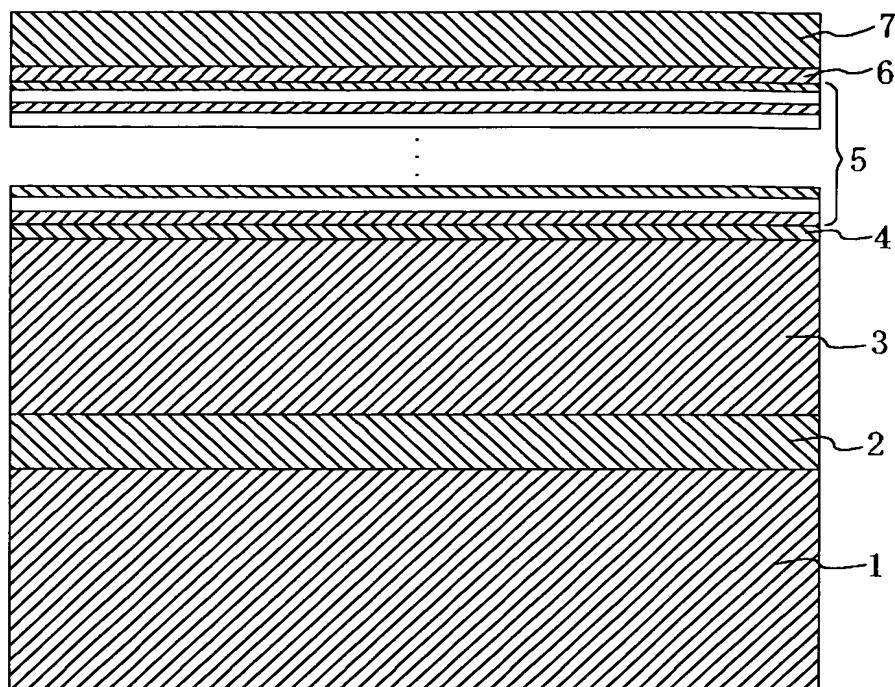
【図11】本発明によるデバイスの第3の実施の形態を示す図である。

【図12】本発明によるデバイスの第4の実施の形態を示す図である。

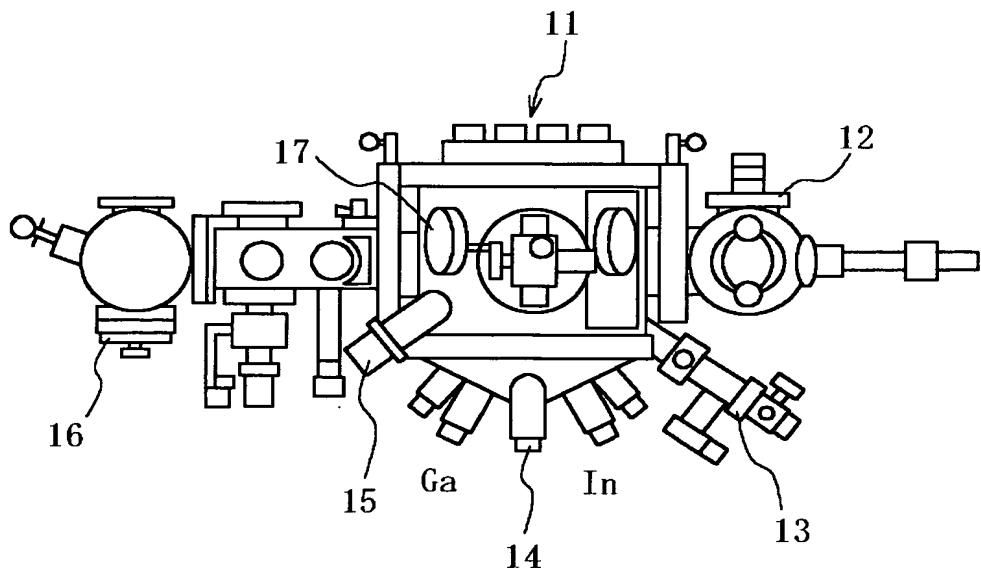
【図13】本発明によるデバイスの第5の実施の形態を示す図である。

【図14】本発明によるデバイスの第6の実施の形態を示す図である。

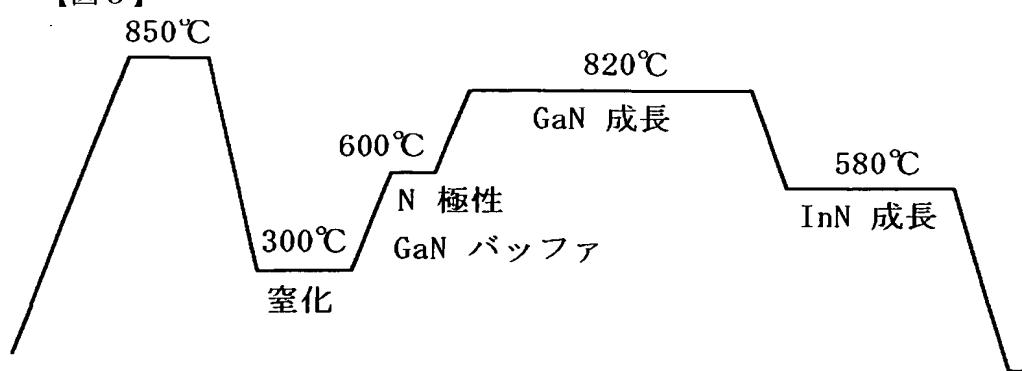
【書類名】 図面
【図 1】



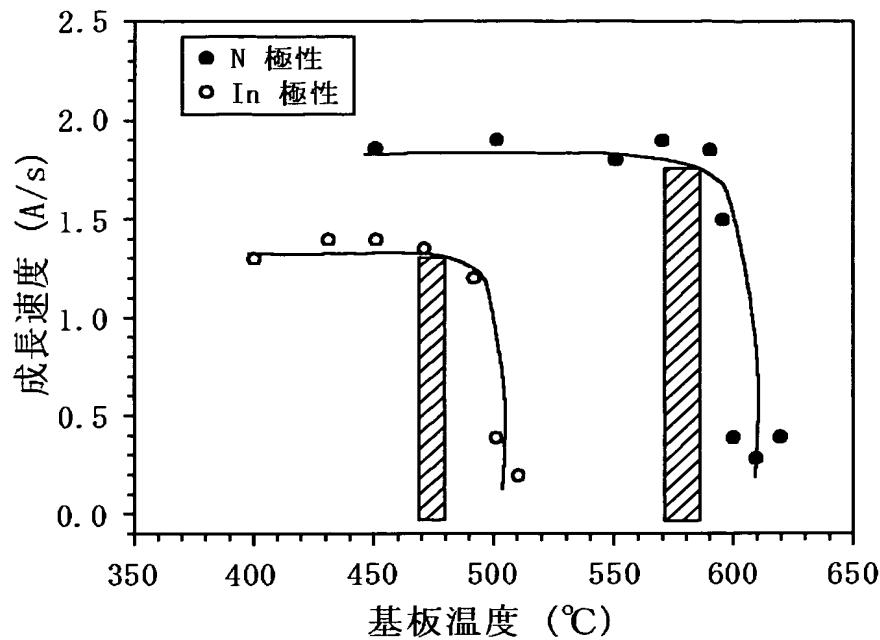
【図 2】



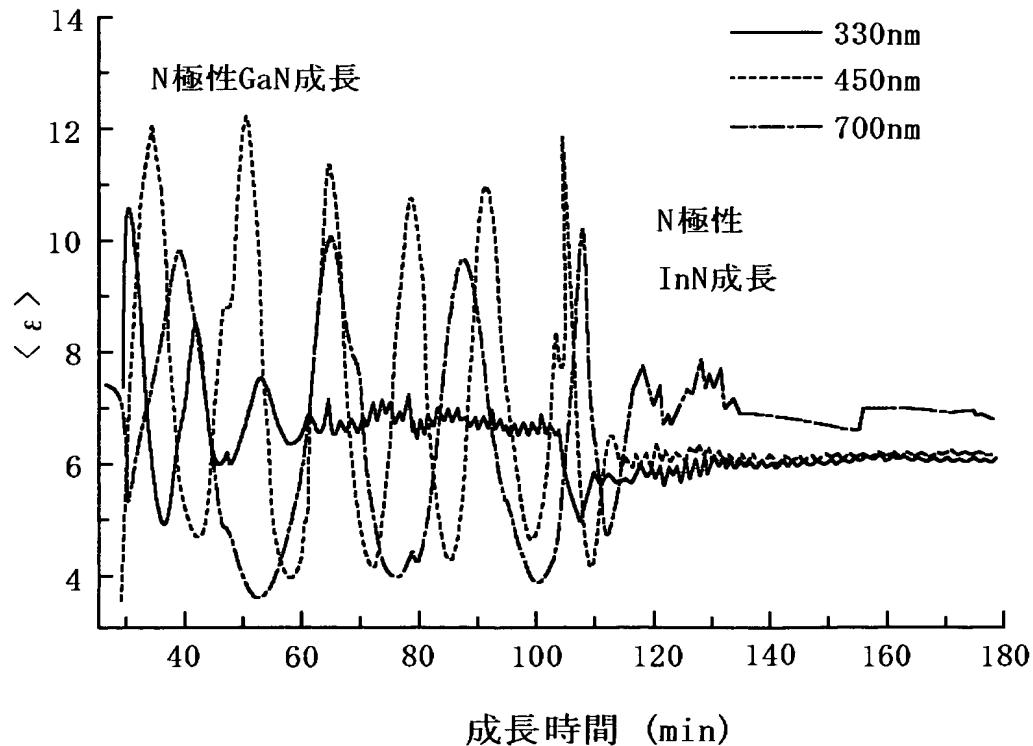
【図 3】



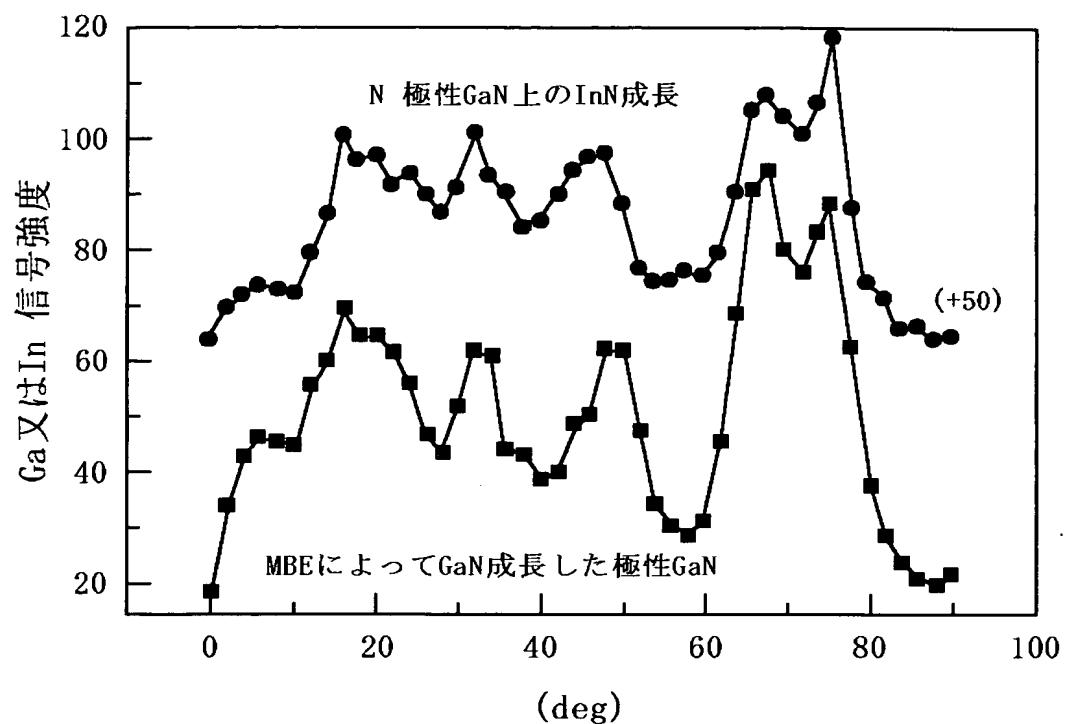
【図4】



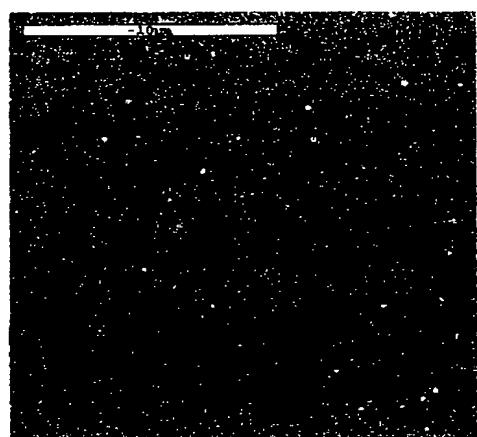
【図5】



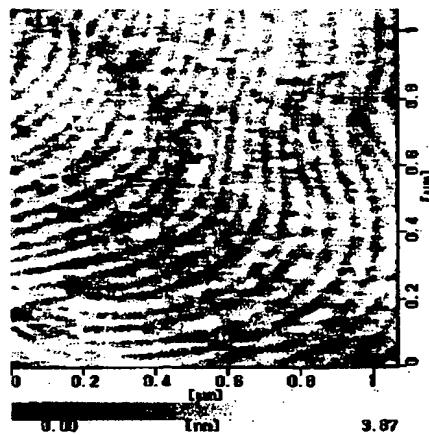
【図 6】



【図 7】

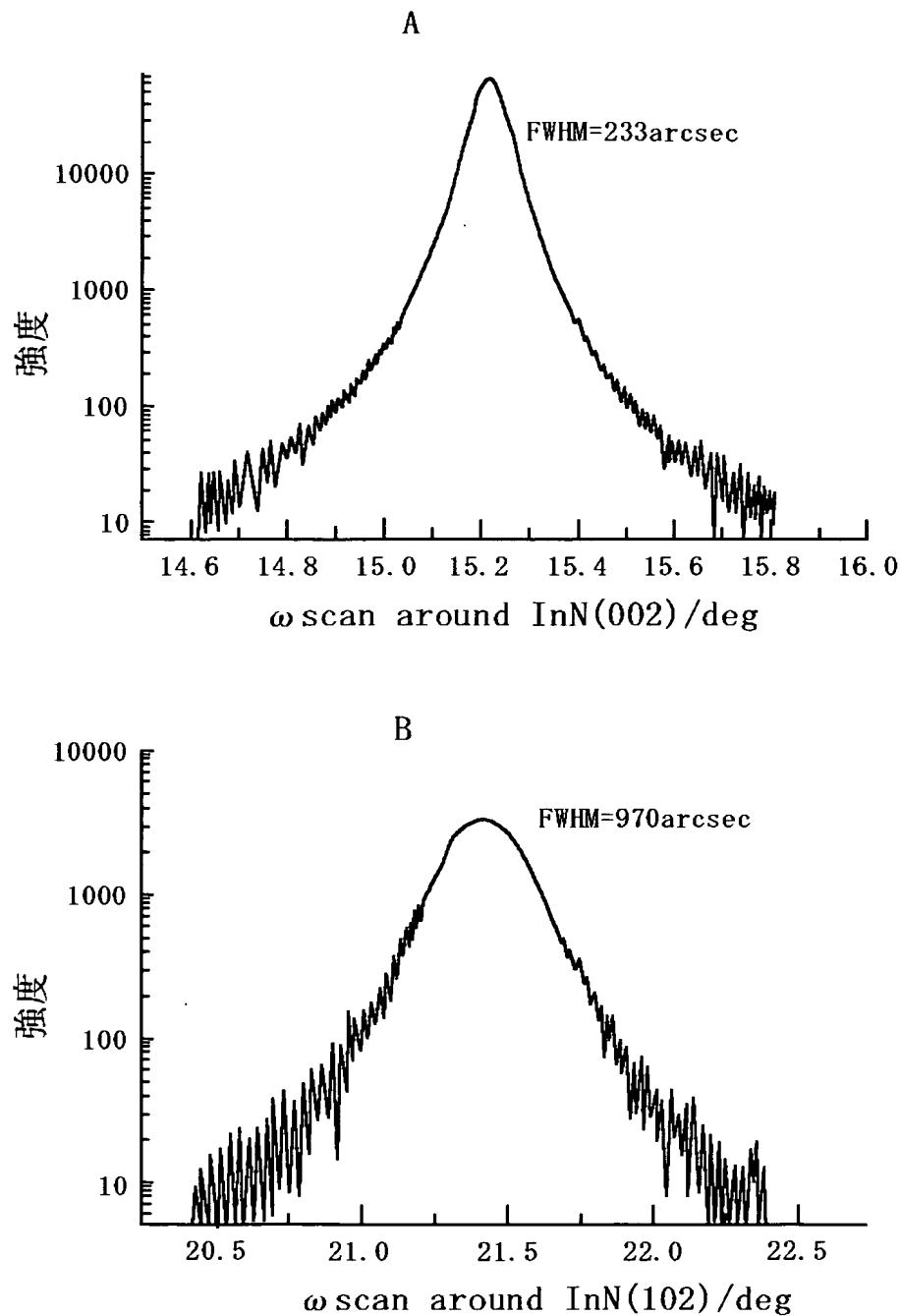


A

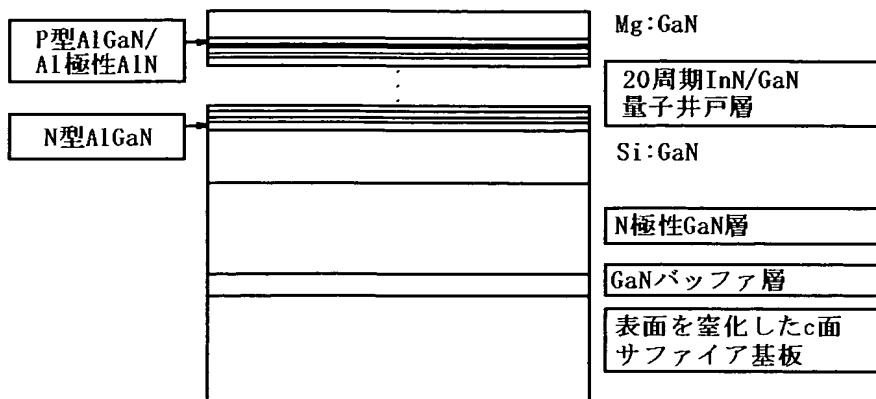


B

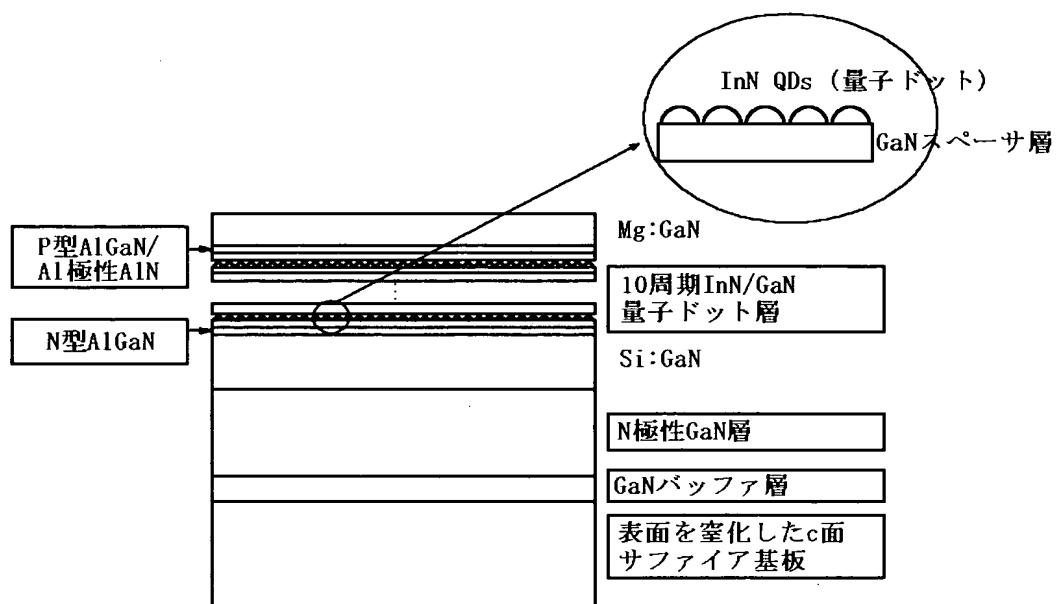
【図 8】



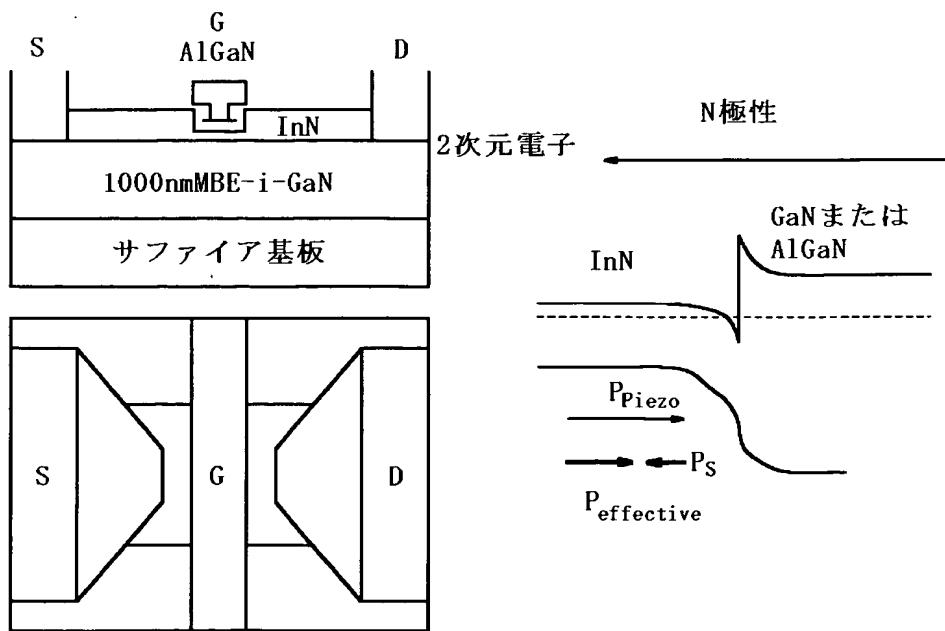
【図 9】



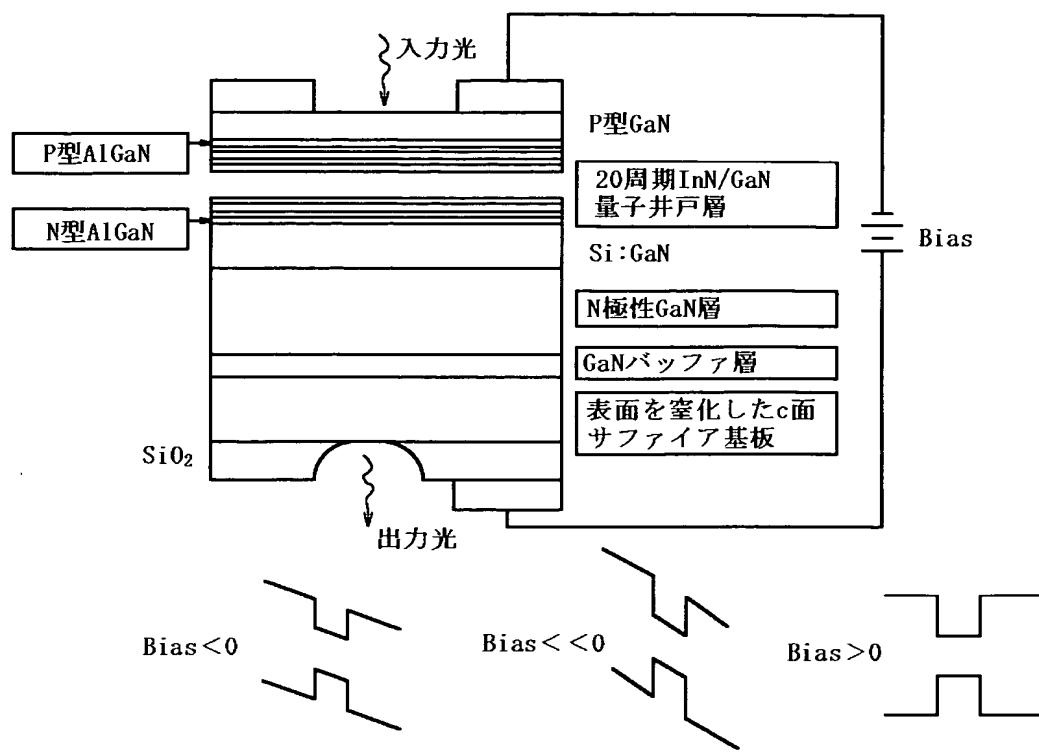
【図 10】



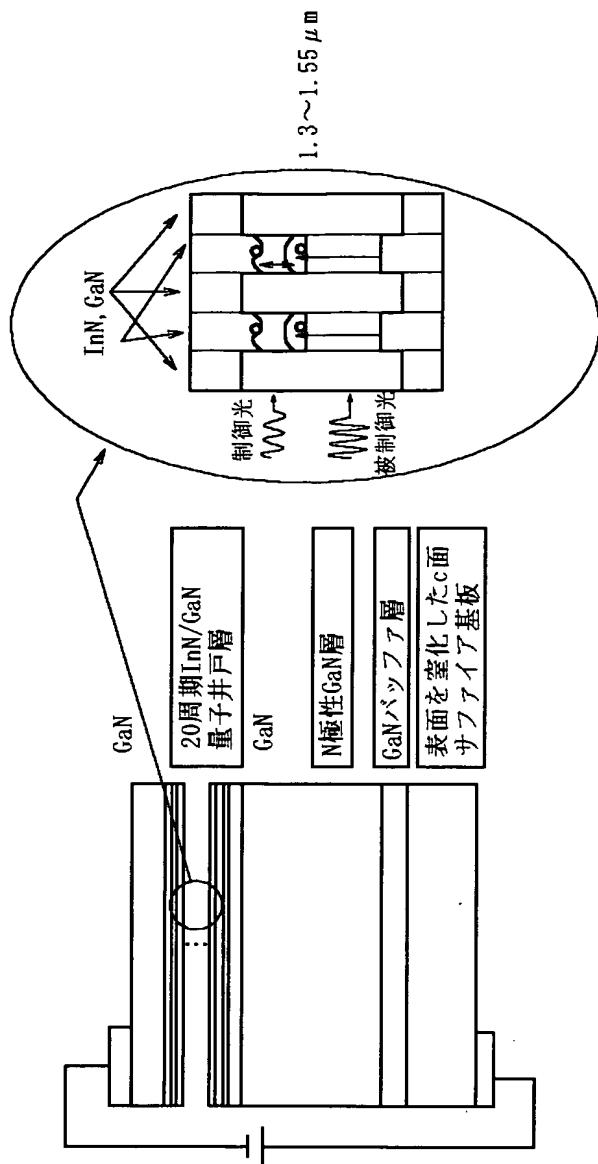
【図 11】



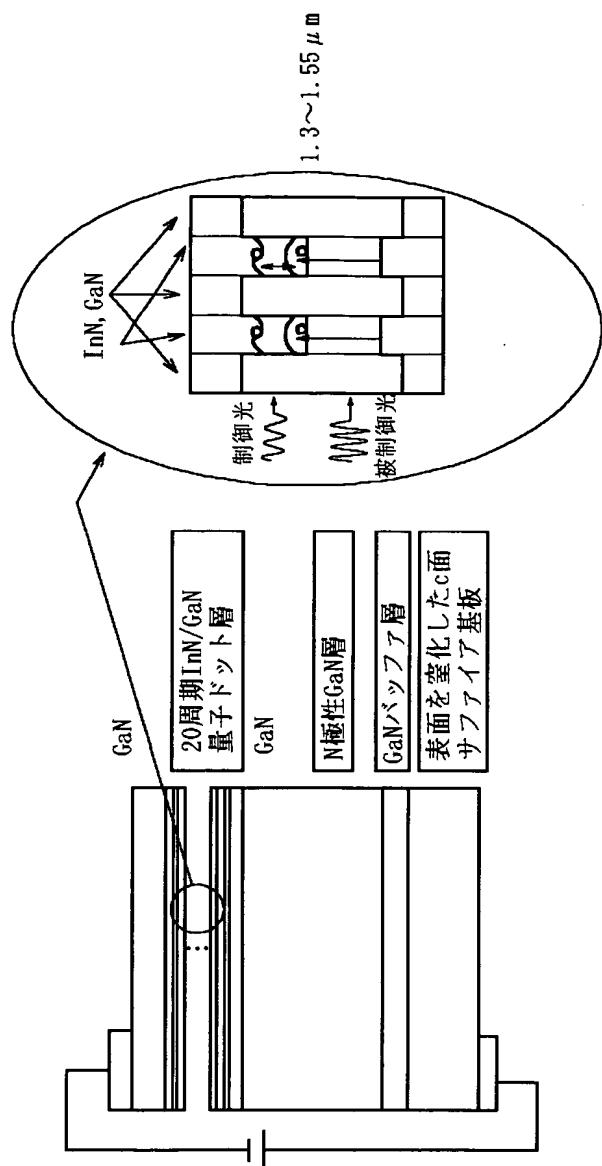
【図 12】



【図13】



【図 14】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】一分子層レベルでの平坦性を有するエピタキシの実現が容易にできる窒化物系へテロ構造を有するデバイス及びその製造方法を提供する。

【解決手段】本発明によるデバイスは、表面を窒化したc面サファイア基板1と、GaNバッファ層2と、N極性GaN層3と、N極性AlN層4と、N極性InN／InGaN多重層デバイス構造5と、Al極性AlN6と、GaNキャップ層7とを有する。

【選択図】図1

認定・付加情報

| | |
|---------|------------------|
| 特許出願の番号 | 特願 2003-314057 |
| 受付番号 | 50301476147 |
| 書類名 | 特許願 |
| 担当官 | 第二担当上席 0091 |
| 作成日 | 平成 15 年 9 月 10 日 |

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 394010252

【住所又は居所】 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1 番 33 号

【氏名又は名称】 千葉大学長

【代理人】

【識別番号】 100072051

【住所又は居所】 東京都千代田区霞が関 3-2-4 霞山ビル 7 階

【氏名又は名称】 杉村 興作

特願2003-314057

出願人履歴情報

識別番号 [394010252]

1. 変更年月日 1994年 4月28日

[変更理由] 新規登録

住 所 千葉県千葉市稻毛区弥生町1番33号
氏 名 千葉大学長